

Nicolas Pinel, Christophe Bourlier

IREENA, Fédération CNRS Atlanstic - Université de Nantes

Polytech'Nantes, Site de la Chantrerie, rue C. Pauc, 44306 Nantes Cedex 3, France

nicolas.pinel@gmail.com

Contexte et Objectif

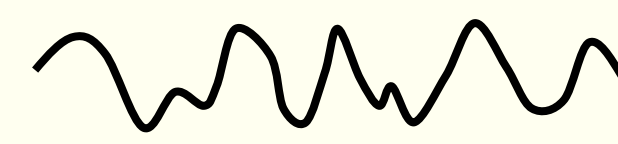
Contexte

Domaine maritime :
Détection, caractérisation et quantification de pollutions de pétrole

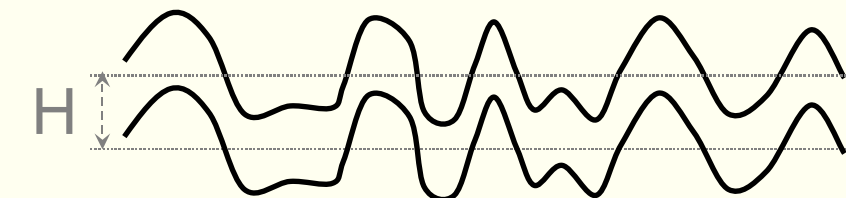
Objectif

Modélisation du rayonnement infrarouge d'une nappe de pétrole sur la surface de la mer
⇒ Calculer l'émissivité d'un film mince diélectrique homogène séparant deux interfaces rugueuses

1 interface rugueuse
→ mer propre



2 interfaces rugueuses
→ mer contaminée



Modélisations : hydrodynamique → électromagnétique

Modélisation hydrodynamique : mer propre / mer contaminée

Caractérisation statistique d'une surface
→ 2 paramètres clés :

- distribution (DDP) des hauteurs : ≈ gaussienne
- spectre des hauteurs (des pentes) de la surface :

✓ mer propre : modèle d'Elfouhaily *et al.* [1]

✓ mer contaminée → modèles de lissage :

- coefficient de Marangoni [2]

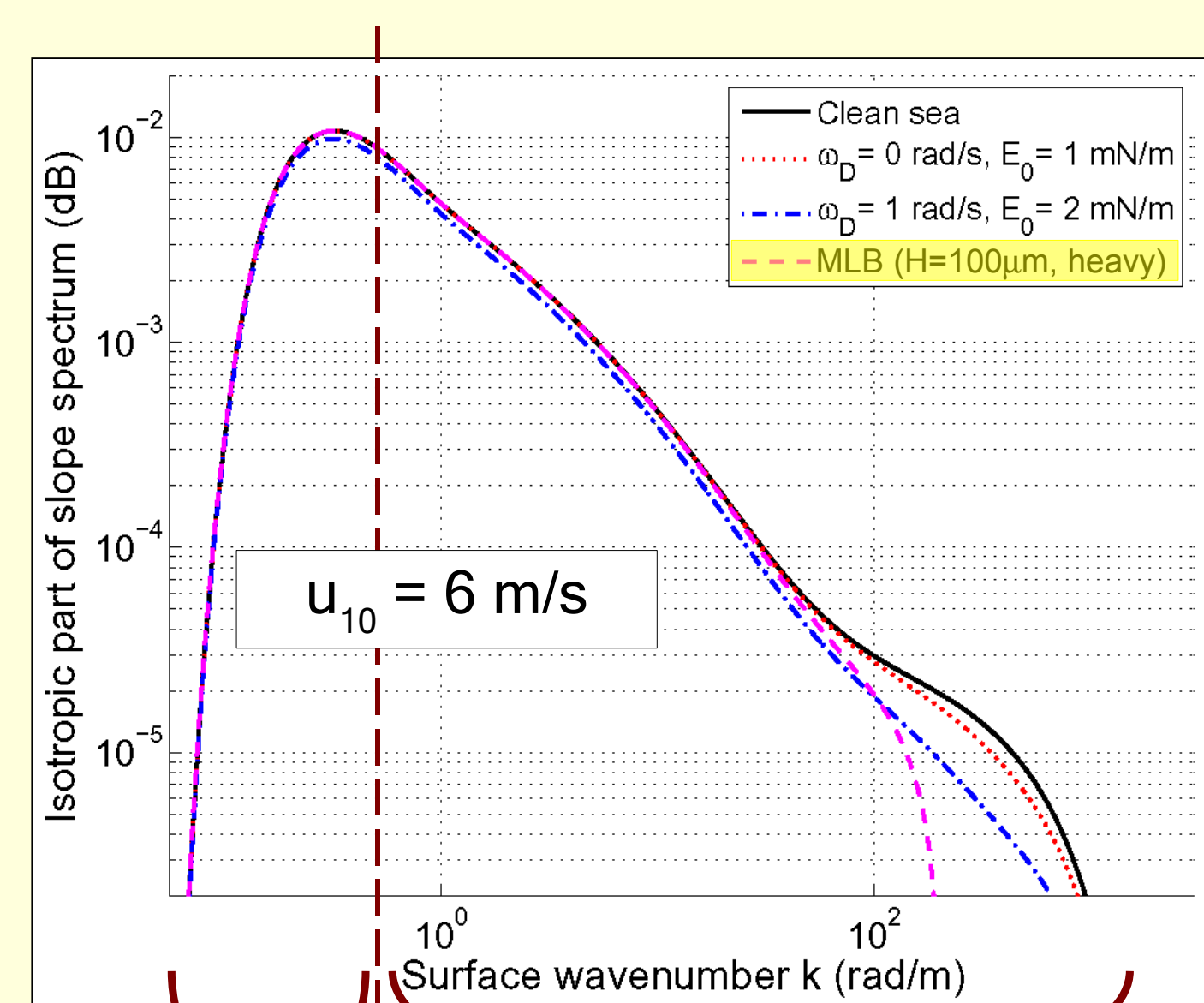
Caractéristique : Indépendant de l'épaisseur H du film
Paramètres relatifs au type de pétrole : ω_D, E_0

- "Model of Local Balance" (MLB) [3]

Caractéristique : Modèle beaucoup plus physique,
basé sur des résultats expérimentaux : [4]
Paramètres relatifs au type de pétrole : ν, H

Hypothèses : Film de pétrole homogène
Épaisseur H de la nappe constante
⇒ Interfaces identiques et parallèles (air/pétrole et pétrole/mer)

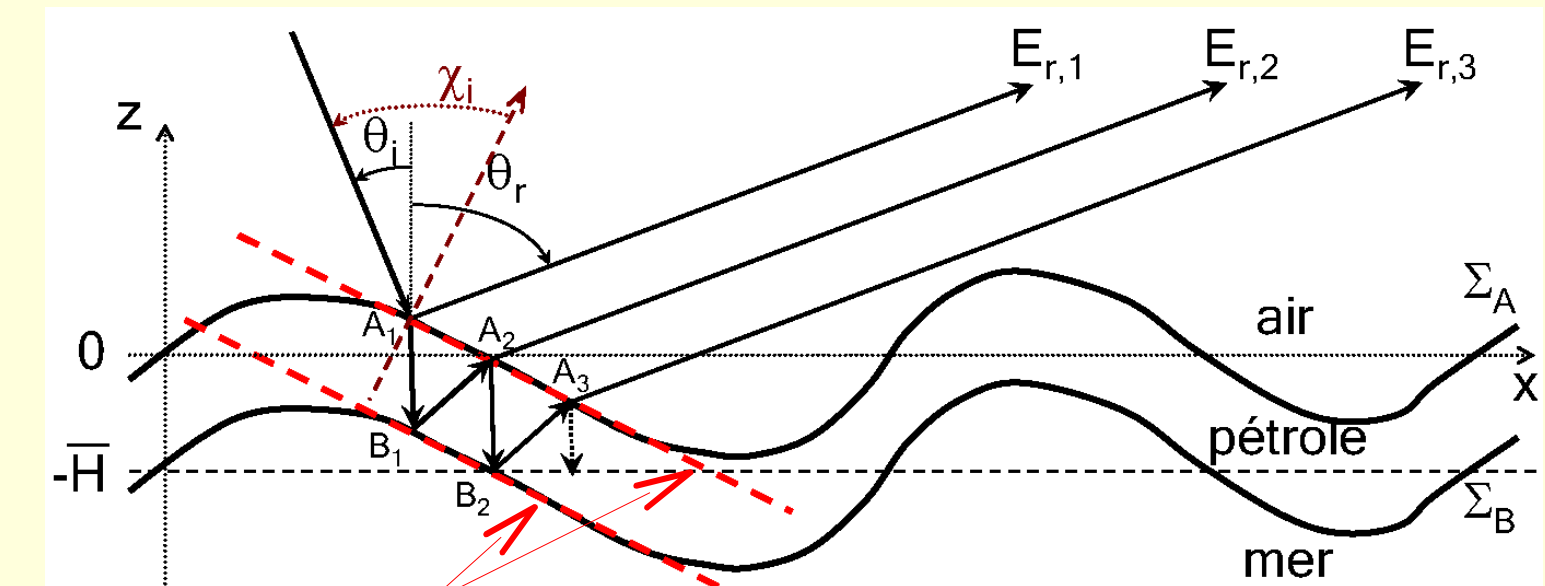
- [1] : [Elfouhaily *et al.*, JGR, 1997],
[2] : [Lombardini *et al.*, JAOT, 1989],
[3] : [Ermakov *et al.*, DAO, 1992],
[4] : [Sergievskaya *et al.*, BIS, 2008]



Vagues de gravité : Faible lissage
Vagues de capillarité : Lissage significatif

Films de pétrole : Approche empirique

Films de pétrole sur la surface de la mer : épaisseurs H fines
⇒ 2 surfaces identiques, avec lissage de la capillarité



Surfaces parallèles localement planes ⇒ Fabry-Pérot local :
Passage d'un problème 2 interfaces à un problème 1 interface :

$r_{12}(\chi_i) \rightarrow r_{eq}(\chi_i)$, avec $\chi_i = \frac{-(\theta_r - \theta_i)}{2}$, r_{12}, r_{eq} : coefficients de réflexion de Fresnel

Modélisation EM → AOG : Émissivité $\epsilon(\theta, \phi)$:

$$\epsilon(\theta, \phi) = \frac{1}{1 + \Lambda(\theta, \phi)} \int_{-\infty}^{+\infty} d\gamma_x \int_{-\infty}^{+\infty} [1 - \mathcal{R}(\chi)] p_s(\gamma_x, \gamma_y) \left(1 - \frac{\gamma_x}{\mu}\right) d\gamma_y$$

avec

- p_s : distribution (DDP) des pentes : ≈ gaussienne
- \mathcal{R} : coefficient de réflexion en puissance non polarisé
- χ : angle d'émission local

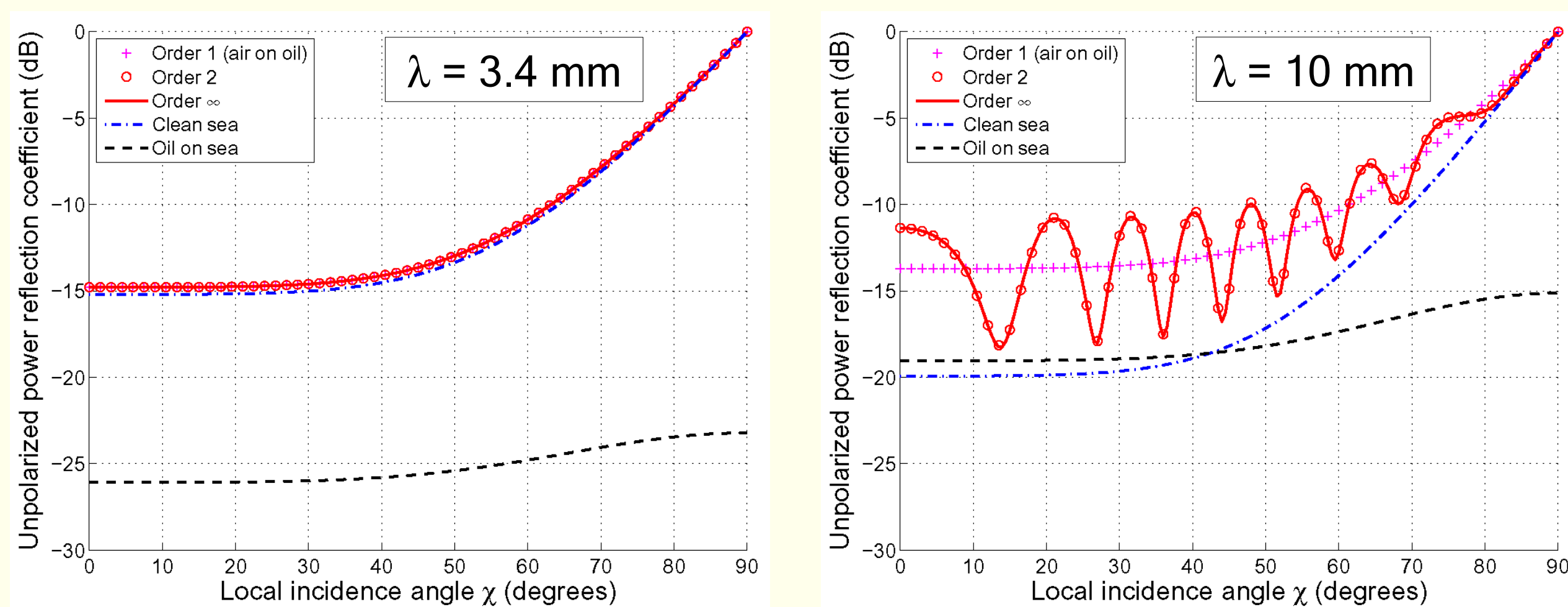
termes d'ombrage (masquage) :

- Λ : effet d'ombrage (masquage) de propagation
- $\gamma_x < \mu$: effet d'ombrage (masquage) angulaire

Résultats : Surfaces planes

Émissivité locale de surfaces planes : $\epsilon^{flat}(\theta=\chi) = 1 - \mathcal{R}(\chi)$

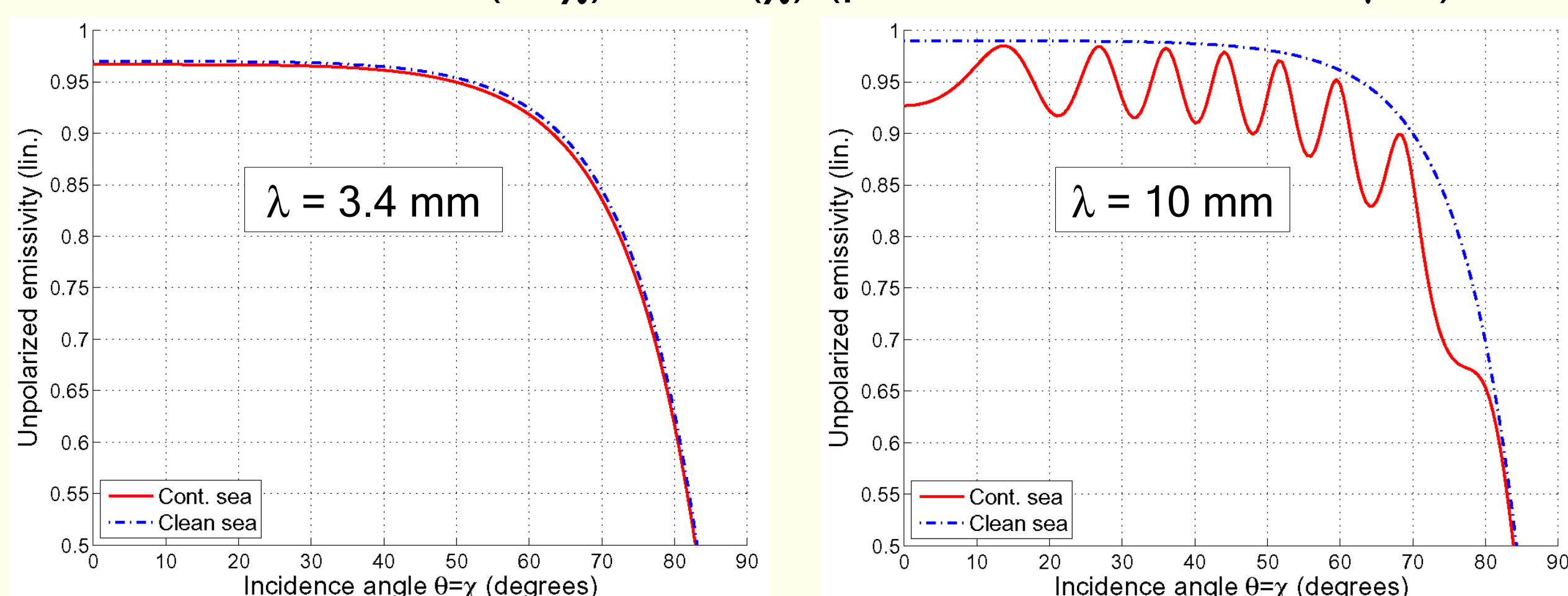
⇒ Calcul de $\mathcal{R}(\chi)$ (pétrole lourd, H = 100 µm) :



Ordre 1 suffisant
Mer contaminée ≈ mer propre

Ordre 2 suffisant - Oscillations
Mer contaminée ≠ mer propre

⇒ Calcul de $\epsilon^{flat}(\theta=\chi) = 1 - \mathcal{R}(\chi)$ (pétrole lourd, H = 100 µm) :

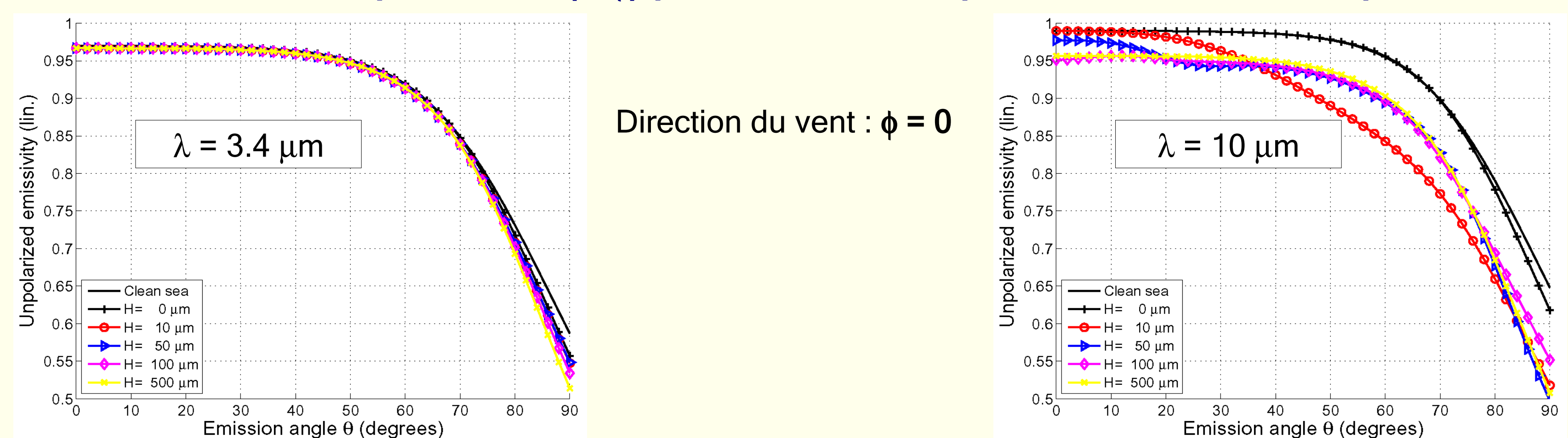


Détection de la nappe de pétrole :
beaucoup plus facile à $\lambda = 10 \mu\text{m}$

Résultats : Surfaces rugueuses (MLB)

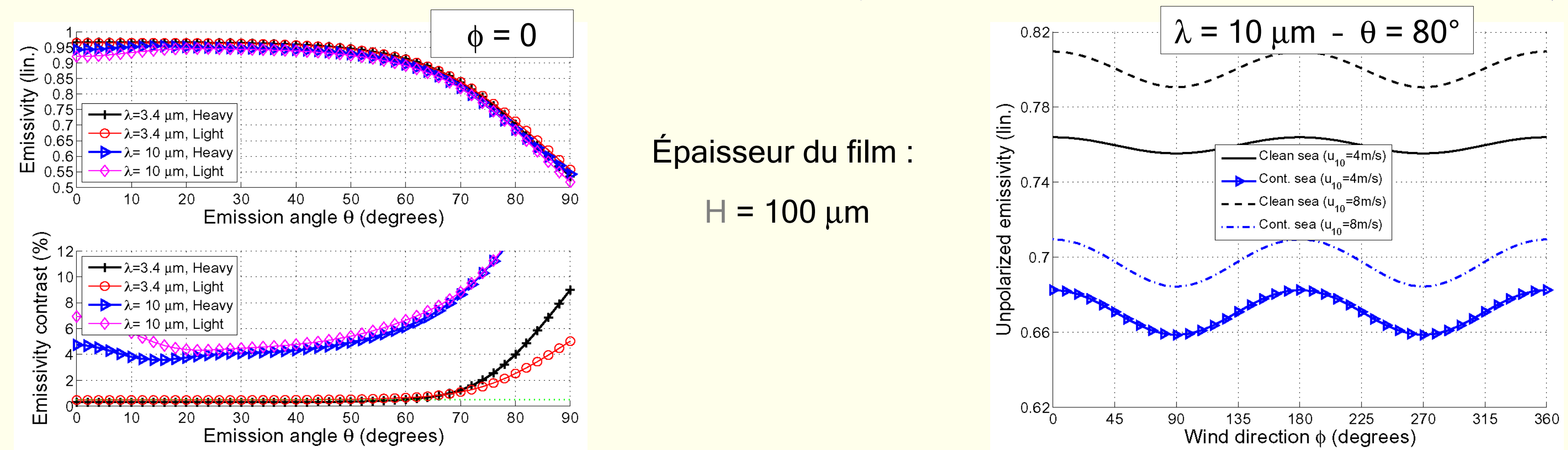
Vitesse du vent : $u_{10} = 6 \text{ m/s}$ - Mer contaminée : Model of Local Balance (MLB), pétrole lourd

Émissivité non polarisée $\epsilon(\theta, \phi)$ pour différentes épaisseurs H du film de pétrole



- Détection de la nappe de pétrole : beaucoup plus facile à $\lambda = 10 \mu\text{m}$
- Estimation d'épaisseur H (→ quantification) : idem

Caractérisation du type de pétrole pour $\lambda = \{3.4, 10\} \mu\text{m}$ Variations selon la direction du vent ϕ



Caractérisation du type de pétrole possible uniquement à $\lambda = 10 \mu\text{m}$

Variations sinusoïdales de l'émissivité avec la direction du vent ϕ